ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 17 FÉVRIER 1941.

PRÉSIDENCE DE M. Hyacinthe VINCENT.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

ENTOMOLOGIE BIOLOGIQUE. — *Phénomènes d'amixie dans les intercroisements de Culicides du groupe* pipiens. Note de M. Émile Roubaud.

Il est possible, ainsi que l'a constaté récemment Fr. Weyer ([1]), d'obtenir des hybrides féconds entre notre moustique commun *Culex pipiens* et son représentant tropical *C. fatigans*. On peut, de même, hybrider aisément au laboratoire les deux races ou biotypes que j'ai précédemment définis chez *C. pipiens*, le Culex autogène (*C. pipiens autogenicus*) et le Culex anautogène (*C. pipiens pipiens*) ([2]).

Les résultats positifs de ces expériences d'hybridation, qui ont seuls jusqu'ici retenu l'attention, tendraient à faire supposer que la distinction de ces différentes espèces ou sous-espèces étroitement apparentées est fragile et que, dans la nature, des mélanges illimités doivent se produire entre elles.

Or, si l'on examine de plus près les phénomènes, on constate qu'en fait une barrière certaine d'amixie physiologique restreint notablement les possibilités théoriques de ces mélanges. L'amixie se traduit par la production d'un plus ou moins grand nombre d'œufs stériles ou de larves abortives, par les femelles fécondées par des mâles hétérologues.

Certaines nacelles de ponte sont parfois entièrement inaptes à l'éclosion et peuvent prêter à confusion avec les pontes issues de femelles non

([1]) *Arb. phys. angew. Ent. Berlin-Dahlem*, 3, 1936, p. 202.
([2]) *Ann. Sc. Nat. Zoologie*, 10e série, 16, 1933, p. 132.

fécondées, si le contrôle microscopique des femelles n'est pas soigneusement pratiqué. L'examen de ces pontes stériles fait, d'autre part, ressortir la présence fréquente, à côté d'œufs demeurés non embryonnés, d'œufs renfermant une larve plus ou moins développée mais morte, dans l'œuf, avant l'éclosion. On ne rencontre parfois qu'une ou deux de ces larves pour une nacelle entière d'œufs stériles ou n'offrant qu'un début de développement.

Le nombre des hybrides viables obtenus, au départ, de ces croisements artificiels de laboratoire où les conditions de contact entre les conjoints hétérologues sont facilitées au maximum, se montre relativement très peu élevé ainsi qu'en témoignent les relevés d'expériences ci-après.

I. *Intercroisement de* C. pipiens *et de* C. fatigans. — Dans la combinaison mâle *pipiens* × femelle *fatigans*, sur cinq pontes obtenues, *deux* furent entièrement stériles ou ne produisirent que quelques larves, mortes avant l'éclosion. Les trois autres pontes, partiellement fertiles, libérèrent une centaine de larves dont 55 seulement achevèrent leur développement.

Au total, sur plus de 300 œufs produits par des femelles *fatigans*, toutes reconnues fécondées par des mâles *pipiens*, 55 moustiques hybrides de première génération parvinrent seuls à l'éclosion, avec une disproportion anormale des mâles (6 pour 49 femelles).

Dans la combinaison mâle *fatigans* × femelles *pipiens*, sur 17 pontes obtenues de femelles reconnues fécondées, 16 furent entièrement stériles en apparence. Dans 5 de ces pontes, plusieurs larves abortives furent cependant décelées. La 17e ponte fut faiblement fertile : elle ne produisit que deux larves viables. Dans l'ensemble, sur environ 850 œufs issus, après fécondation par mâles *fatigans*, de femelles *pipiens*, seulement deux moustiques de première génération hybride furent obtenus.

Dans ces divers essais de croisement du *fatigans* avec le *pipiens*, c'est jusqu'ici uniquement en utilisant la variété autogène du *C. pipiens* que des hybrides viables furent constatés.

II. *Intercroisement de biotypes de* Culex pipiens. — Des phénomènes analogues d'amixie ont pu être également observés en intercroisant des variétés, ou même des souches biologiques différentes, de *C. pipiens*.

Ainsi, dans divers de nos essais, sur cinq pontes résultant d'un croisement de mâles *C. pipiens pipiens* de Normandie avec des femelles de *C. pipiens* autogènes de Tunisie, trois furent totalement infertiles, malgré la fécondation contrôlée des femelles. Dans la combinaison inverse, les trois pontes obtenues étaient toutes infertiles, dans les mêmes conditions.

Sur treize pontes provenant du croisement de mâles *autogenicus* toulonnais avec des femelles *C. pipiens herbericus* d'Algérie, douze furent frappées d'infertilité totale, mais avec une proportion plus ou moins forte de larves mortes avant l'éclosion.

Sur six pontes produites par des femelles autogènes de Tunisie fécondées par des mâles autogènes parisiens, trois furent fertiles, trois totalement infertiles, avec présence de quelques larves abortives.

Sur cinq pontes issues de femelles autogènes d'Algérie fécondées par des mâles autogènes parisiens, deux furent partiellement ou totalement infertiles.

Dans la descendance ultérieure des hybrides viables issus de ces croisements, certaines pontes sont également parfois frappées de stérilité, dans les mêmes conditions. L'apparition de pontes stériles ou de larves abortives, que l'on constate de temps à autre dans les élevages d'une souche naturelle donnée de *Culex*, pourrait donc traduire l'hétérogénéité génotypique de cette souche. Il en est de même lorsque certaines résistances sont observées dans les intercroisements de souches appartenant en apparence à un même biotype (autogène nord-africain et autogène parisien par exemple).

Les phénomènes d'amixie physiologique constatés dans le groupe du *pipiens* sont à rapprocher des faits analogues de résistance à l'hybridation relevés dans les intercroisements de diverses variétés anophéliennes (biotypes de *maculipennis*, de *Stephensi* etc.).

Ces données font ressortir la stabilité relative, dans la nature, des variations biotypiques, même peu caractérisées morphologiquement, dont l'étude moderne des Culicides manifeste de plus en plus l'importance, en tant que véritables sous-espèces physiologiques. Elles n'excluent d'ailleurs pas les possibilités accidentelles de croisement naturel entre les divers biotypes, fait dont nous possédons déjà plusieurs exemples, chez les Culex comme chez les Anophèles.

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Sur certaines équations aux dérivées partielles.* Note ([1]) de M. **Jules Haag.**

M. Dragoslav S. Mitrinovitch ([2]) a donné l'intégrale générale d'une certaine classe d'équations aux dérivées partielles. Ces équations

---

([1]) Séance du 10 février 1941.

([2]) *Comptes rendus*, 210, 1940, p. 783-785.

constituent un cas particulier d'une classe beaucoup plus générale, dont l'intégration se ramène à une équation différentielle.

Posons, pour abréger l'écriture,

$$z_k = (px + qy)^{(k)},$$

le second membre ayant la signification indiquée dans la Note précitée. Considérons l'équation

$$\text{(1)} \qquad H(x, y, z, z_1, z_2, \ldots, z_n) = 0,$$

où H représente une fonction quelconque. Faisons le changement de variable $y = xt$. La fonction $z = f(x, y)$ devient

$$z = f(x, tx) = F(x, t).$$

D'après une identité élémentaire bien connue, on a

$$\frac{\partial^k F}{\partial x^k} = (f'_x + tf'_y)^{(k)} = \frac{z_k}{x^k}.$$

Dès lors l'équation (1) s'écrit

$$\text{(2)} \qquad H\left(x, tx, F, x\frac{\partial F}{\partial x}, x^2\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}, \ldots, x^n\frac{\partial^n F}{\partial x^n}\right) = 0.$$

C'est une équation différentielle d'ordre n entre F et x. Si

$$\text{(3)} \qquad F = \varphi(x, t, C_1, C_2, \ldots, C_n)$$

représente son intégrale générale, l'intégrale générale de l'équation (1) s'obtient en y remplaçant les n constantes d'intégration C_i par n fonctions arbitraires de y/x et t par y/x.

Considérons par exemple l'équation linéaire

$$\text{(4)} \qquad \sum_{k=0}^{n} a_k z_k = b,$$

les a_k et b désignant des fonctions quelconques de x et y. L'équation (2) devient une équation différentielle linéaire quelconque, dont l'intégrale générale est de la forme

$$F = g_0(x, t) + \sum_{k=1}^{n} C_k g_k(x, t).$$

L'intégrale générale de (4) est donc

$$z = g_0\left(x, \frac{y}{x}\right) + \sum_{k=1}^{n} g_k\left(x, \frac{y}{x}\right) \varphi_k\left(\frac{y}{x}\right),$$

les φ_k étant des fonctions arbitraires.

Si les a_k sont des constantes et si $b = 0$, l'équation (2) est une équation d'Euler, et l'on obtient immédiatement les formules de M. Mitrinovitch. Mais on peut évidemment imaginer d'autres cas particuliers pour lesquels on saura écrire l'intégrale générale.

CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

Pierre Fauvel. *Annélides polychètes de l'Indochine recueillies par* M. C. Dawydoff.

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Sur les systèmes d'événements; application à deux théorèmes classiques.* Note de M. **Michel Loève**, présentée par M. Émile Borel.

1. *Une égalité et applications.* — Soient m couples d'événements A_1, B_1; A_2, B_2; ... A_m, B_m, définis sur une même catégorie d'épreuves et tels que $A_i \supset B_i$ (B_i entraîne A_i), $i = 1, 2, \ldots m$. On établit aisément l'égalité

$$(1) \quad \begin{aligned} &\Pr[(A_1 - B_1)(A_2 - B_2)\ldots(A_m - B_m)] \\ &= \Pr(A_1 A_2 \ldots A_m) + \ldots + (-1)^k \Sigma \Pr(B_{i_1} \ldots B_{i_k} A_{i_{k+1}} \ldots A_{i_m}) \\ &\quad + \ldots + (-1)^m \Pr(B_{i_1} B_{i_2} B_{i_m}); \end{aligned}$$

et l'on en déduit les probabilités des combinaisons quelconques d'un nombre fini d'événements dépendants ou non, compatibles ou non [1].

King a écrit certaines de ces formules sous forme symbolique en remplaçant, dans les calculs intermédiaires, $S_k = \Sigma \Pr(A_{i_1} A_{i_2} \ldots A_{i_k})$ par S^k. Remplaçons, de même, les moments factoriels $M_{(k)}$ de la répétition R des

---

(1) On peut obtenir ainsi les relations d'égalité établies dans Fréchet, *Probabilités associées à un système d'événements dépendants et compatibles*, Paris, 1940; Fréchet, *Recherches théoriques modernes sur la théorie des probabilités*, Livre I, page 12, Paris, 1937.

événements A_i par M^k et $\sum_{j_1,\dots,j_k} Pr(A_{i_1}A_{i_2}\dots A_{i_r}A_{j_1}\dots A_{j_k})$ par $p_{i_1 i_2 \dots i_r}(M^k/k\,!)$.

On a, en indiquant par $\doteq$ les égalités symboliques,

$$\text{Prob}(A_{i_1},\ \dots,\ A_{i_r}\ \text{seuls ont lieu}) \doteq p_{i_1\dots i_r} e^{-M},$$

$$P_{[r]} = \text{Prob}(r\ \text{des évén.}\ A_i\ \text{ont lieu}) \doteq \frac{M^r}{r\,!} e^{-M},$$

et la fonction génératrice de R

$$G(u) \doteq e^{M(u-1)}, \qquad \dots .$$

Dans le cas où la variable aléatoire R suit la loi de Poisson, les deux dernières relations deviennent, comme on le sait, des égalités ordinaires.

La méthode symbolique s'étend aux formules, que l'on peut encore obtenir à partir de (1), relatives aux groupes d'événements

$$\{C_i\}\ (i = 1, 2, \dots, m); \qquad \{D_j\}\ (j = 1, 2, \dots, n), \qquad \dots .$$

En adoptant une convention analogue, $M_{(p,q)}$ remplacé par $M^p M'^q$, ..., on a, par exemple,

$$P_{[r,s]} = \text{Prob}(r\ \text{évén.}\ C_i\ \text{et}\ s\ \text{évén.}\ D_j\ \text{ont lieu}) \doteq \frac{M^r}{r\,!}\,\frac{M'^s}{s\,!}\, e^{-(M+M')},$$

$$G(u,\ u') \doteq e^{M(u-1)+M'(u'-1)}.$$

Appliquons à une généralisation, qui semble nouvelle, du problème des rencontres : une urne renferme $m+n$ boules numérotées de 1 à $m+n$; on fait $m+n$ tirages sans remettre les boules tirées et l'on étudie la probabilité $P_{[r,s]}^{(m,n)}$ de l'événement où se trouvent fixés, à la fois, le nombre r des rencontres dans m tirages désignés et celui s dans les n autres. Si l'on fait croître ensuite m et n, de manière que $m/(m+n) \to \alpha$ fixe, $P_{[r,s]}^{(m,n)}$ tend vers une limite $P_{[r,s]}$ définissant une loi de Poisson à deux dimensions (si $\alpha \neq 0$ et 1)

$$P_{[r,s]} = \frac{\alpha^r}{r\,!} e^{-\alpha} \frac{\beta^s}{s\,!} e^{-\beta}, \qquad \alpha + \beta = 1.$$

2. *Une double inégalité et applications.* — On peut établir la relation suivante, où $P_r = \text{Prob}(R \geq r)$,

$$(2) \qquad \frac{S_k - C_{r-1}}{C_m^k - C_{r-1}^k} \leqq P_r \leqq \frac{S_k}{C_r^k}.$$

Pour $r = m$, on retrouve à droite une inégalité de M. Fréchet, à gauche l'inégalité de M. Gumbel. En les transformant et appliquant aux événements extraits d'une suite dénombrable $\{A_i\}$, on trouve

$$\varpi_{\mu,m}(k) \leqq P_{\mu,m} \leqq \frac{m}{k}\, \varpi_{\mu,m}(k),$$

où

$$P_{\mu,m} = Pr(A_{\mu+1} + \ldots + A_{\mu+m})$$

et

$$\varpi_{\mu,m}(k) = \frac{1}{C_m^k} \sum_{i_1<\ldots<i_k\leq m} Pr(A_{\mu+i_1} + \ldots + A_{\mu+i_k}).$$

D'où les généralisations suivantes de deux théorèmes classiques :

1° Si $\lim\limits_{\mu\to\infty} \lim\limits_{m\to\infty} (m/k)\varpi_{\mu,m}(k) = 0$, on a $\mathfrak{P} = 0$,

où k reste constant ou varie avec $m (k \leq m)$ et $\mathfrak{P} = \text{Prob}$ (infinité des A_i ont lieu).

Pour $k = 1$, on a le théorème de Borel-Cantelli. Nous disposons maintenant d'une échelle de conditions suffisantes de plus en plus larges lorsque k est pris de plus en plus grand. Soient, par exemple, les événements $A_1 \supset A_2 \supset \ldots \supset A_n \supset \ldots$, avec $Pr(A_n) = 1/n$; le critère de Borel-Cantelli ne réussit plus, par contre, celui pour $k = m$, et plus généralement, n'importe lequel de ceux où $\overline{\lim\limits_{m\to\infty}} (m/k) < \infty$ montre que $\mathfrak{P} = 0$.

De plus, si $\underline{\lim\limits_{\mu\to\infty}}\ \underline{\lim\limits_{m\to\infty}} (m/k)\varpi_{\mu,m}(k) < p$, on a $\mathfrak{P} < p$.

2° Si $\lim\limits_{\mu\to\infty} \lim\limits_{m\to\infty} \varpi_{\mu,m}(k) = 1$, on a $\mathfrak{P} = 1$

et l'on a encore une échelle de conditions suffisantes. Pour $k = m$ et en supposant les événements indépendants on retrouve un autre théorème de M. Borel.

De plus, si $\overline{\lim\limits_{\mu\to\infty}}\ \overline{\lim\limits_{m\to\infty}} \varpi_{\mu,m}(k) > p$, on a $\mathfrak{P} > p$.

MÉCANIQUE ONDULATOIRE. — *Sur les ondes planes de la particule de spin 2 (graviton).* Note de Mme **Marie-Antoinette Tonnelat**, présentée par M. Louis de Broglie.

Les notations sont celles de notre précédente Note (1). Nous avons obtenu quatre systèmes d'équations : le premier ($j = 2$), analogue au système de Fierz (2), dérive d'un tenseur symétrique $\Phi_{(\mu\nu)}$; le second ($j = 1$)

(1) *Comptes rendus*, 212, 1941, p. 187. Dans cette Note nous n'avons pas explicité, faute de place, le nombre des grandeurs indépendantes (c'est-à-dire non liées par des relations algébriques) résultant des équations de la théorie et de leurs conséquences; ce nombre est 168 (35 pour $j = 2$, 3×35 pour $j = 1$, et 2×14 pour $j = 0$).

(2) Fierz, *Helvetica Physica Acta*, 5, XII, 1939, p. 1.

est du même type mais dérive d'un tenseur antisymétrique $\Phi_{[\mu\nu]}$; le troisième ($j=1$) introduit deux fois les équations du type photon ou mésoton; enfin le quatrième ($j=0$), dit état d'annihilation, découle de deux invariants.

En séparant le temps dans les équations d'ondes initiales, nous obtenons

$$(1) \qquad 2\,\partial_t \Phi_{iklm} = [(\mathcal{A}^p + \mathcal{B}^p)\,\partial_p + \varkappa \mu_0 c\,(\mathcal{A}_4 + \mathcal{B}_4)]\,\Phi_{iklm} \qquad (p = 1, 2, 3)$$

$$(2) \qquad 2\,\partial_t \Phi_{iklm} = [(\mathrm{A}^p + \mathrm{B}^p)\,\partial_p + \varkappa \mu_0 c\,(\mathrm{A}_4 + \mathrm{B}_4)]\,\Phi_{iklm}$$

avec

$$(\mathcal{A}_\mu)_{iklmpqrs} = (\alpha_\mu)_{ip}\,\partial_{kq}\,\partial_{lr}\,\partial_{ms}, \qquad \mathcal{B}_\mu = \pm(\alpha_\mu)^{\star}_{lr}\,\partial_{ip}\,\partial_{kq}\,\partial_{ms}$$

$$(\mathrm{A}_\mu)_{iklmpqrs} = (\alpha_\mu)_{ms}\,\partial_{ip}\,\partial_{kq}\,\partial_{lr}, \qquad (\mathrm{B}_\mu) = \pm(\alpha_\mu)^{\star}_{kq}\,\partial_{ip}\,\partial_{lr}\,\partial_{ms} \qquad (- \text{ pour } \mu = 4).$$

Nous allons chercher des solutions de la forme

$$\Phi_{iklm} = a_{iklm}\, e^{\varkappa(wt - pz)} = a_{iklm}\mathrm{P}$$

en prenant la direction de propagation comme axe Oz.

1. *Expression des Φ_{iklm} en fonction de 16 constantes arbitraires.* — Les solutions de l'équation (1) seront les mêmes que pour un Φ à 16 composantes i, l, les indices k, m restant fixes. Elles introduisent les quatre constantes de la théorie du photon, C_1, C_2, C_3, C_4 [3]. De même les solutions de (2) s'obtiennent à partir d'une solution à 16 composantes m, k (i, l fixes) et s'expriment en fonction de quatre constantes : C'_1, C'_2, C'_3, C'_4. En utilisant les notations

$$C_{ij} = C_i C'_j \qquad (i, j = 1, 2, 3, 4),$$

nous pourrons exprimer les 256 composantes Φ_{iklm} en fonction des 16 constantes arbitraires C_{ij}. Ces composantes se répartiront en 16 tableaux analogues. Voici l'un d'entre eux

$$\Phi_{3223} = c_{11}\mathrm{P}, \qquad \Phi_{1441} = p^4/\Delta^4 c_{11}\mathrm{P} \qquad (\Delta = \mathrm{W}/c + \mu_0 c),$$
$$\Phi_{3243} = -\Phi_{1223} = \Phi_{3423} = -\Phi_{3221} = p/\Delta c_{11}\mathrm{P},$$
$$\Phi_{3443} = -\Phi_{1423} = -\Phi_{3241} = \Phi_{1221} = -\Phi_{1243} = -\Phi_{3421} = p_2/\Delta^2 c_{11}\mathrm{P},$$
$$\Phi_{1443} = -\Phi_{1241} = \Phi_{3441} = -\Phi_{1421} = -p^3/\Delta^3 c_1,\mathrm{P}.$$

2. *Spin.* — Étant donné l'hamiltonien H du système formé par (1) et (2) et le moment cinétique orbital M_p, il est possible de définir un opérateur N_p tel que $(\mathrm{M}_p + \mathrm{N}_p)\mathrm{H} - \mathrm{H}(\mathrm{M}_p + \mathrm{N}_p) = 0$. Sa composante N_z est alors

$$\mathrm{N}_z = h/4\pi\,[i\mathcal{A}_1\mathcal{A}_2 + i\mathcal{B}_1\mathcal{B}_2 + i\mathrm{A}_1\mathrm{A}_2 + i\mathrm{B}_1\mathrm{B}_2],$$

---

(3) L. DE BROGLIE, *Nouvelles recherches sur la lumière* (*Actualités Scientifiques*, **411**, 1936, p. 17).

N_x et N_y se déduisant par permutation circulaire. D'après la forme de la matrice $i\alpha_1\alpha_2$, on obtient

$$N_z\Phi_{iklm} = h/4\pi\,[-(-1)^i + (-1)^l - (-1)^m + (-1)^k]\,\Phi_{iklm},$$

ce qui nous donne immédiatement la répartition des différents Φ_{iklm}, c'est-à-dire des constantes c_{ij} suivant les différentes valeurs de m (nombre quantique correspondant à la composante du spin le long de Oz)

$$m = \begin{cases} +2 & c_{11}, \\ -2 & c_{22}, \end{cases} \qquad m = \begin{cases} +1 & c_{13},\ c_{31},\ c_{14},\ c_{41}, \\ -1 & c_{23},\ c_{32},\ c_{24},\ c_{42}, \end{cases} \qquad m = 0 \,\{ c_{33},\ c_{44},\ c_{43},\ c_{34},\ c_{12},\ c_{21}.$$

Le cas $m = \pm 2$ est donc fourni par les ondes dextrogyres (c_2) et lévogyres (c_1) de la théorie du photon, sans mélange entre elles. Le cas $m = -1$ résulte de la combinaison des ondes dextrogyres et longitudinales (c_3, c_4), $m = +1$ des ondes lévogyres et longitudinales, $m = 0$ correspond aux combinaisons des ondes longitudinales entre elles, et des ondes dextrogyres-lévogyres.

3. *Expression des grandeurs de la théorie en fonction des* c_{ij}. — Nous avons adopté le développement

$$\psi_{iklm} = (m^A n^B \pm n^A m^B)_{iklm}\Phi_{AB}, \qquad A,\ B = 0,\ \ldots,\ 16.$$

En multipliant ψ_{iklm} par $(m^A n^B \pm n^A m^B)$ et en prenant la trace on exprime chaque Φ_{AB} en fonction des ψ_{iklm} (solution des équations en ∂_4), puis des Φ_{iklm} (solutions des équations en ∂_t), c'est-à-dire des c_{ij}. Nous allons citer, à titre d'exemple, les valeurs des 16 grandeurs fondamentales de la théorie ([4]).

1° $j = 2$,

$$\Phi_{(22)} - \Phi_{(11)} = 8\mu_0^2 c^2/\Delta^2(c_{11} + c_{22})P, \qquad \Phi_{(33)} = -4W^2/c^2\Delta^2(c_{33} + c_{44} + c_{34} + c_{43})P;$$

$$\Phi_{(13)} = -2\mu_0 W/\Delta^2(c_{13} + c_{31} - c_{23} - c_{32} + c_{14} + c_{41} - c_{24} - c_{42})P,$$

$$\Phi_{(23)} = 2i\mu_0 W/\Delta^2(c_{13} + c_{31} + c_{23} + c_{32} + c_{14} + c_{41} + c_{24} + c_{42})P,$$

$$\Phi_{(12)} = -4i\mu_0^2 c^2/\Delta^2(c_{11} - c_{22})P.$$

2° $j = 1$,

$$\chi_1^{(1)} = -2i\mu_0^2\, c^2/\Delta^2(c_{13} + c_{31} - c_{23} - c_{32} - c_{14} - c_{41} + c_{24} + c_{42})P,$$

$$\chi_2^{(1)} = -2\mu_0^2\, c^2/\Delta^2(c_{13} + c_{31} + c_{23} + c_{32} - c_{14} - c_{41} - c_{24} - c_{42})P,$$

$$\chi_3^{(1)} = 4i\mu_0 W/\Delta^2(c_{33} - c_{44})P,$$

$$\chi_1^{(2)} = -2i\mu_0^2\, c^2/\Delta^2(c_{13} - c_{31} - c_{23} + c_{32} - c_{14} + c_{41} + c_{24} - c_{42})P,$$

$$\chi_2^{(2)} = -2\mu_0^2\, c^2/\Delta^2(c_{13} - c_{31} + c_{23} - c_{32} - c_{14} + c_{41} - c_{24} + c_{42})P,$$

$$\chi_3^{(2)} = 4i\mu_0 W/\Delta^2(c_{43} - c_{34})P,$$

$$\Phi_{[23]} = 2i\mu_0 W/\Delta^2(c_{13} - c_{31} + c_{23} - c_{32} + c_{14} - c_{41} + c_{24} - c_{42})P,$$

$$\Phi_{[31]} = 2\mu_0 W/\Delta^2(c_{13} - c_{31} - c_{23} + c_{32} + c_{14} - c_{41} - c_{24} + c_{42})P,$$

$$\Phi_{[12]} = 4i\mu_0^2\, c^2/\Delta^2(c_{21} - c_{12})P,$$

3° $j = 0$,

$$\Sigma_\mu \Phi_{(\mu\mu)} = 4\mu_0^2 c^2/\Delta^2(2c_{12} + 2c_{21} - c_{33} - c_{44} - c_{34} - c_{43})P,$$

$$\varphi = 4\mu_0^2 c^2/\Delta^2(c_{33} + c_{44} - c_{43} - c_{34})P.$$

([4]) M. A. Tonnelat, *loc. cit.*, p. 188 et 189, *lire* $\partial^\rho \Phi^{(2)}_{[\rho\mu]\nu} = -k\Phi_{(\mu\nu)}$ et $\partial^\rho \Phi^{(1)}_{[\rho\mu]\nu} = k\Phi_{[\mu\nu]}$ pour les deux premières équations des groupes $j = 2$ et $j = 1$.

On aura donc finalement la répartition suivante des c_{ij} en fonction des nombres quantiques correspondant au spin total (j) et au spin suivant Oz(m) :

$$j = 2 \left\{ \begin{array}{lll} m = +2, & c_{11}, & \multirow{2}{*}{$\Phi_{(22)} - \Phi_{(11)},\ \Phi_{(12)},$} \\ m = -2, & c_{22}, & \\ m = +1, & c_{13} + c_{31} + c_{14} + c_{41}, & \multirow{2}{*}{$\Phi_{(23)},\ \Phi_{(31)},$} \\ m = -1, & c_{23} + c_{32} + c_{24} + c_{42}, & \\ m = 0, & c_{33} + c_{44} + c_{34} + c_{43}, & \Phi_{(33)}. \end{array} \right.$$

$$j = 1 \left\{ \begin{array}{ll} m = 1 & \left\{ \begin{array}{l} c_{14} - c_{41}, \quad c_{13} - c_{31} \\ c_{13} + c_{31} - c_{14} - c_{41} \end{array} \right. \\ m = -1 & \left\{ \begin{array}{l} c_{24} - c_{42}, \quad c_{23} - c_{32} \\ c_{23} + c_{32} - c_{24} - c_{42} \end{array} \right. \end{array} \right\} \begin{array}{l} \chi_1^{(1)},\ \chi_2^{(1)},\ \chi_1^{(2)},\ \chi_2^{(2)}, \\ \Phi_{[31]},\ \Phi_{[23]}, \end{array}$$

$$\phantom{j = 1 \{} m = 0 \quad | \ c_{33} - c_{44}\ (\chi_3^{(1)}),\ c_{43} - c_{34}\ (\chi_3^{(2)}),\ c_{21} - c_{12}\ (\Phi_{[12]}),$$

$$j = 0, \quad m = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} c_{12} + c_{21}, \\ c_{33} + c_{44} - c_{43} - c_{34}, \end{array} \right. \qquad \Sigma_\mu \Phi_{\mu\mu},\ \varphi.$$

On vérifie que toutes les grandeurs calculées en fonction des c_{ij} vérifient les équations de la théorie. On peut, bien entendu, obtenir ces résultats au moyen de combinaisons entre les grandeurs de la théorie à 16 composantes. Mais il semble plus intéressant de les faire dériver d'une équation d'ondes initiale qui met mieux en évidence le caractère corpusculaire et qui, postulée comme base de la théorie, lui permet une autonomie complète dans son développement.

CHIMIE MINÉRALE. — *Résistance du ferrite tétracalcique hydraté aux agents chimiques soude et gaz carbonique*. Note de Mlle **Jeanne Foret**.

Les ferrites de calcium hydratés présentent des séries de composés comparables aux aluminates de calcium : ferrites simples tricalcique [1] et tétracalcique [2]; ferrites doubles [3] : nitroferrite de calcium, chloroferrite de calcium etc. et ils possèdent des propriétés hydrauliques analogues à celles des composés alumineux.

---

(1) Intire et Shaw, *Soil Science*, 19, 1925, p. 125; Eiger, *Rev. Mat. Const.*, 1937, p. 141.

(2) Pelouze, *Ann. Chim. Phys.*, 3e série, 33, 1851, p. 5; Le Chatelier, *Mortiers hydrauliques*, Paris, 1904; Hoffmann, *Über Calciumferrithydrate Zementverlag*, Berlin, 1935.

(3) Malquori et Caruso, *Atti del Xe Cong. Int. Chim.*, Roma, 2, 1938, p. 713.

J'ai déjà indiqué ([4]) que l'aluminate tétracalcique hydraté, tout d'abord stabilisé par des solutions de soude de titre inférieur à 0,04 N, était décomposé par des solutions alcalines plus concentrées. Cette propriété expliquant la désagrégation de certains ciments alumineux, s'applique-t-elle aux ferrites de calcium? L'action de la soude en solution sur le ferrite tétracalcique hydraté a fait l'objet principal de cette étude.

J'ai préparé du ferrite tétracalcique par précipitation simultanée par la soude, en milieu privé de gaz carbonique, d'hydrate de fer et de chaux, dans un mélange en proportion théorique de leurs chlorures. Les précipités perdent rapidement la coloration rouille due à l'oxyde de fer et deviennent blancs. Ils ont été placés après lavage dans des solutions de soude de titres connus. Et, après équilibre, les liqueurs ont été analysées pour leur teneur en oxyde de fer, en chaux et en soude.

Tout d'abord, aucune trace d'oxyde de fer n'est révélée dans la liqueur alcaline, et la coloration blanche du ferrite confirme la combinaison totale de l'oxyde de fer. Enfin la teneur en chaux dans les solutions décroît depuis l'eau pure, où la décomposition est maximum, jusqu'aux solutions les plus concentrées.

Voici les teneurs en chaux et en soude d'un certain nombre des liqueurs d'expérience, exprimées en normalité :

Soude	0	0,0028	0,0040	0,0157	0,032	0,171	0,295
Chaux	0,0420	0,0126	0,0095	0,00125	0,0011	0,0005	0,0002

Ces chiffres permettent de tracer une courbe très voisine de celle donnée par Anselme ([5]) pour la précipitation de la chaux en solutions de soude. L'effet sur le ferrite de calcium est analogue. La soude stabilise le ferrite de calcium; la décomposition en solution alcaline devient pratiquement insignifiante dès 0,015 N.

A la suite de cette résistance à la soude, il faut signaler la décomposition du ferrite de calcium sous l'influence du gaz carbonique. Celle-ci se manifeste, soit dans une eau carbonatée, soit à l'air, par l'apparition de la coloration due à l'oxyde de fer.

L'étude des propriétés magnétiques, après dessiccation à la température ordinaire et carbonatation de la chaux, indique que l'oxyde de fer libéré est encore hydraté; sa composition se rapproche probablement de celle de la goethite.

([4]) *Comptes rendus*, 204, 1937, p. 1335.

([5]) *Bull. Soc. Chim.*, 3e série, 29, 1903, p. 936.

Susceptibilité χ, rapportée à l'oxyde de fer, de ferrites carbonatés.

42.10^{-6}, 48.10^{-6}, $36\text{-}40.10^{-6}$ goethite.

Ces deux caractères des ferrites de calcium hydratés, stabilisation par la soude et attaquabilité par le gaz carbonique, permettent de prévoir des qualités d'usage. La possibilité se révèle de leur emploi comme mortier en présence de roches feldspathiques, et partout où une action alcaline est à prévoir. L'action du gaz carbonique pose un autre problème, celui de la compacité du matériau obtenu, mais ne semble pas un inconvénient dans l'emploi.

CHIMIE ORGANIQUE. — *De l'influence des substitutions électronégatives sur la tautomérie de l'acide opianique.* Note [1] de MM. **Buu-Hoï** et **Paul Cagniant**, présentée par M. Marcel Delépine.

L'un de nous a montré [2] par la spectroscopie ultraviolette que l'acide opianique est, en solution, un mélange en équilibre des deux formes tautomères (I) et (II) prévues par les chimistes. Par un choix convenable du solvant, il est possible de déplacer entièrement cet équilibre soit vers l'une, soit vers l'autre des deux formes en présence,

CHO; CH^3O; CO^2H; CH^3O (I). ⇌ CH—OH; O; CH^3O; CO; CH^3O (II).

En vue de rassembler le matériel expérimental nécessaire à l'élaboration d'une théorie générale de la tautomérie céto-lactolique, il nous a semblé utile d'établir la constitution réelle de divers acides opianiques substitués. Nous avons étudié tout d'abord l'influence des groupes électronégatifs $—NO^2$ et —Br.

Wegscheider [3] a montré que la constante d'affinité de l'acide bromo-opianique (III) est beaucoup plus faible ($K_{25°} = 4,34 \times 10^{-5}$)

---

[1] Séance du 3 février 1941.

[2] Buu-Hoï, *Comptes rendus*, **212**, 1941, p. 242.

[3] *Monatsh. f. Chem.*, **37**, 1916, p. 220; **26**, 1905, p. 1231.

que celle de l'acide opianique en solution aqueuse ([4]) ($K_{25°} = 8,82 \times 10^{-4}$), ce qui doit provenir de la présence d'une forte proportion de la forme oxylactone (IV). De même la constante de l'acide nitro-opianique

(Br ou NO^2)
CH O
CH^3O CO^2H
CH^3O
(III).

⇌ (Br ou NO^2) CH OH O CH^3O CO CH^3O
(IV).

(Br ou NO^2) CH O CH^3O CO^2CH^3 CH^2O
(V).

(Br ou NO^2) CH O CH^3 O CH^3O CO CH^3O
(VI).

($K_{25°} = 2,91 . 10^{-6}$) est encore plus faible, et même inférieure à celles de l'acide déhydracétique et de la dihydrorésorcine. Par contre Hans Meyer ([5]), faisant réagir le diazométhane sur les deux acides (III), obtient des éthers normaux (V), ce qui tend à prouver que ces acides possèdent exclusivement la structure aldéhyde, le diazométhane étant réputé comme ne provoquant jamais de transpositions. Les spectres d'absorption nous permettent de montrer cependant que, dans aucun cas, si ce n'est en milieu fortement alcalin, les acides bromo et nitro-opianiques ne possèdent la structure aldéhyde (III). En effet l'acide bromo-opianique, qu'il soit en solution dans l'alcool aqueux à 50 % (courbe 1, *fig.* 1) ou dans $CHCl^3$ (courbe 2, *fig.* 1), absorbe tout à fait comme son pseudoéther (VI) (courbe 4, *fig.* 1). Par contre le spectre des solutions dans la soude aqueuse N/20, qui correspond à la forme aldéhyde, a une allure tout à fait différente (courbe 3, *fig.* 1), et semblable au spectre de l'éther normal (courbe 5, *fig.* 1) obtenu par la méthode au diazométhane.

De même l'absorption de l'acide nitro-opianique en solution dans l'alcool aqueux à 50 % (courbe 1, *fig.* 2) ou dans $CHCl^3$ (courbe 2, *fig.* 2), ressemble à celle de son ψ-éther (courbe 4, *fig.* 2), alors que la courbe qui

---

([4]) Ostwald, *Zeit. f. physik. Chem.*, 3, 1889, p. 268.
([5]) *Monatsh. f. Chem.*, 26, 1905, p. 1299.

correspond aux solutions dans la soude (courbe 3, *fig.* 2) a une allure différente. Notons que l'acide nitro-opianique se dissout sans coloration dans les alcalis, mais que ces solutions subissent, avec le temps, une décom-

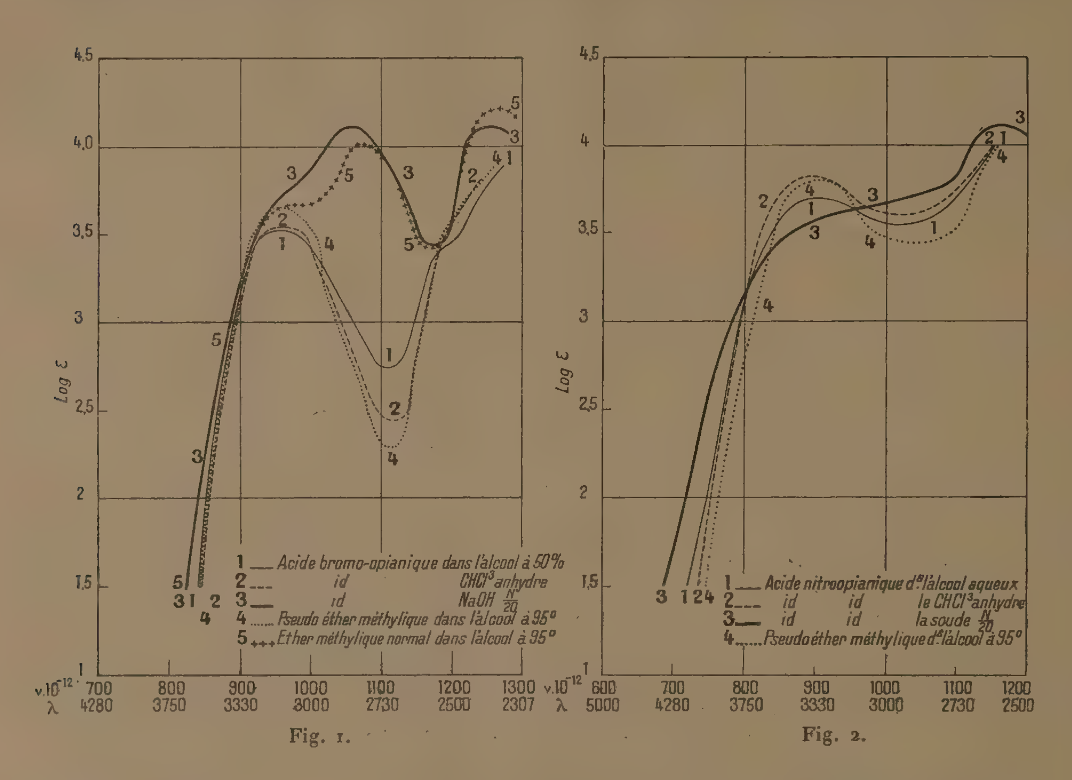


Fig. 1. Fig. 2.

position photochimique importante avec apparition d'une coloration jaune.

En résumé, nos expériences, qui confirment les résultats obtenus par la méthode conductimétrique, montrent qu'il faut faire peu de cas des méthodes chimiques lorsqu'il s'agit de fixer la structure des tautomères, les réactifs les plus doux, comme le diazométhane, étant susceptibles de transposer les molécules en une autre structure.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Union labile de l'oxygène au carbone. Photo-oxydation de mésodiphénylanthracènes diméthoxylés en divers points.* Note de MM. **Charles Dufraisse** et **Léon Velluz**, présentée par M. Marcel Delépine.

Quand ils sont en positions 1 et 4 (I) sur le mésodiphénylanthracène, deux méthoxyles ont, comme nous l'avons établi antérieurement (1939), le

pouvoir de rendre tellement labile l'union du carbone et de l'oxygène que ce dernier est expulsé déjà à froid du photooxyde (constitution V). Nous nous sommes alors préoccupés de discerner successivement l'influence du substituant et celle de sa position. Dans un premier travail (1940), nous avons montré que le méthoxyle avait vis-à-vis de l'oxygène une action mobilisante propre, en tout cas une action que ne possèdent pas d'autres substituants négatifs comme le chlore ou le phényle. Restait à voir l'influence de l'emplacement du groupe actif par rapport à l'oxygène.

C^6H^5 OCH^3 / C^6H^5 OCH^3 (I).

OCH^3 C^6H^5 OCH^3 / C^6H^5 (II).

C^6H^5 OCH^3 / OCH^3 C^6H^5 (III).

C^6H^5 / OCH^3 / CH^{3}O / C^6H^5 (IV).

O–O (V).

Les positions 1 et 4 sont, avec les deux autres positions α (5 et 8), les plus rapprochées du noyau central. Il convenait de rechercher si un autre arrangement sur sommets α ne serait pas aussi efficace que le dispositif 1-4 pour mobiliser l'oxygène. Les deux autres distributions possibles en α, soit 1-8 (II) et 1-5 (III), ont été réalisées; on y a ajouté un arrangement di-β, 2-6 (IV), en vue de comparaisons.

L'isomère 1.8 a été préparé à partir de la chrysazone, dont l'éther diméthylique a été phénylé en deux diquinols, ($C^{28}H^{24}O^4$), les diméthoxy-1.8-diphényl-9.10-dihydroxy-9.10-dihydro-9.10-anthracènes diastéréoisomères, ($CH^3O)C^6H^3[C(OH)(C^6H^5)]^2C^6H^3(OCH^3)$, corps incolores, cristallisés, l'un en aiguilles (fusion instantanée 306-307°), l'autre en octaèdres (fusion instantanée 271°–272°). Ces diquinols sont réduits à la manière habituelle en diméthoxy-1.8-diphényl-9.10-anthracène ($C^{28}H^{22}O^2$) (II), tables jaunes pâles (fusion instantanée 212°-213°).

Des voies parallèles ont conduit aux deux autres anthracènes diméthoxylés. Pour l'isomère 1.5, on a pris comme matière première l'anthrarufone (dihydroxy-1.5-anthraquinone) que l'on a méthylée. Le diquinol intermédiaire, ($C^{28}H^{24}O^4$), ou diméthoxy-1.5-diphényl-9.10-dihydroxy-9.10-dihydro-9.10-anthracène ($CH^3O)$ C^6H^3 $[C(OH)(C^6H^5)]^2$ $C^6H^3(OCH^3)$, se dépose en benzène avec une molécule de solvant, cristaux incolores (fusion instantanée 225°-226). Le diméthoxy-1.5-diphényl-9.10-anthracène ($C^{28}H^{22}O^2$) (III) est en prismes jaunes (fusion instantanée 284°-285°).

Enfin l'isomère 2.6 ($C^{28}H^{22}O^2$) (IV), prismes jaunes (fusion instantanée 256°-257°),

provient de la dihydroxy-2.6-anthraquinone par l'intermédiaire de l'éther diméthylique et du diquinol ($C^{28}H^{24}O^{4}$), lui-même en cristaux incolores (fusion instantanée 241°-242°), retenant du solvant (1^{mol} en dioxane, 2^{mol} en acétone).

Comme nous l'avions déjà remarqué avec l'isomère 1.4, les méthoxyles perturbent profondément le cours de la photooxydation. Ainsi, dans le sulfure de carbone, le solvant convenant le mieux aux autres corps anthracéniques, les quatre corps méthoxylés n'ont fourni que des résines. L'isomère 1.8 paraît le plus altérable : il brunit déjà en quelques instants à la lumière, même par une journée sombre de décembre. On a essayé de modérer la vigueur de cette attaque en ajoutant de l'éther, dont le pouvoir empêchant vis-à-vis de la photooxydation et de la photoaltération avait été éprouvé avec l'anthracène [1]. La résinification s'en est trouvée ralentie, mais sans que la formation du photooxyde en soit améliorée.

L'éther pur a donné des résultats positifs avec l'isomère 1.8 (II), mais pas avec l'isomère 1.5 (III), qui y subit sans changement une insolation d'une durée aussi longue que sept jours. Déjà l'isomère 1.8 (II) exige cinq jours d'irradiation pour fournir sa récolte maxima de photooxyde ($C^{28}H^{22}O^{4}$), alors qu'il suffit de une à deux heures pour l'isomère 1.4 (I). Les oxydabilités photochimiques en éther vont en croissant, suivant la gradation : $1.5 < 1.8 < 1.4$. Le photooxyde correspondant à l'isomère 1.5 (III) n'a pas encore été obtenu : il ne se forme ni en benzène, ni en éther, ni en sulfure de carbone, ni en mélanges de solvants.

Si l'on considère maintenant la dissociabilité du photooxyde, on constate une grande influence de l'ordre de distribution des substituants, même sur sommets semblables. Alors que la fragilité du photooxyde mésodiphénylanthracénique était considérablement accrue par deux méthoxyles en 1.4, puisque l'oxygène en partait à froid, il y a au contraire stabilisation de l'oxyde par les mêmes méthoxyles quand ils sont en 1.8, puisque la température de dissociation est notablement relevée (215° au lieu de 180°); en 1.4 les méthoxyles repoussent l'oxygène, en 1.8 ils le retiennent.

En positions β, 2.6 (IV) par exemple, qui sont plus éloignées du noyau central, les méthoxyles ont une influence moins accentuée sur la photooxydation. Cependant l'altérabilité à la lumière des solutions sulfocarboniques se maintient encore : le photooxyde ($C^{28}H^{22}O^{4}$) est obtenu en modérant l'attaque par 10 % d'éther. Par contre la dissociation du photooxyde a repris son allure habituelle : décomposition à 180°, rendement en oxygène libre environ 95 %.

---

(1) Ch. Dufraisse et M. Gérard, *Bull. Soc. Chim.*, 5e série, 4, 1937, p. 2055.

En résumé, les mésodiphénylanthracènes diméthoxylés en divers points présentent entre eux certaines ressemblances et de sérieuses différences. Tous se résinifient à la lumière dans leurs solutions sulfocarboniques, mais ils sont inégalement protégés par l'éther contre la photooxydation. La différence la plus remarquable tient à la mobilité de l'oxygène des photooxydes : considérablement accrue chez l'isomère 1.4, plutôt un peu diminuée chez l'isomère 1.8, elle reste inchangée, comme en l'absence de méthoxyles, chez l'isomère 2.6.

Cette activité des méthoxyles est à rapprocher de celle, bien connue, qu'ils exercent en série benzénique sur le carbone contigu au noyau : en positions ortho ou para, ils rendent particulièrement réactives les valences de ce carbone. Or, sur nos anthracènes, les carbones méso, points d'attache de l'oxygène, sont à considérer comme carbones latéraux des deux noyaux extérieurs. De plus, quelle que soit sa position sur ces mêmes noyaux extérieurs, un méthoxyle est toujours en ortho ou para à l'égard de l'un ou de l'autre des carbones méso. Ainsi doit s'expliquer ce qu'il y a de commun entre nos divers isomères diméthoxylés, soit, principalement, l'altérabilité de leurs solutions sulfocarboniques irradiées à l'air. Selon toute vraisemblance l'oxygène se fixe rapidement à sa place normale (V), mais, activé par les méthoxyles, il réagit énergiquement au fur et à mesure sur le reste de la molécule en donnant des résines. Rappelons à ce propos que, situés sur les carbones méso eux-mêmes [2], les méthoxyles confèrent aussi une grande réactivité soit vis-à-vis de la photooxydation, soit vis-à-vis de la transformation du photooxyde : cependant en cette position méso, qui représente le rapprochement maximun du siège de la photooxydation, le méthoxyle paraît influencer les mouvements de l'oxygène à un degré moindre qu'en position moyennement éloignée, en sommet α.

Quant à la différence si tranchée des labilités de l'oxygène, elle doit relever d'un mécanisme plus profond, que nous croyons être en mesure de rattacher à la notion de mésomérie.

PÉDOLOGIE. — *Rôle de la forêt humide en Côte d'Ivoire dans la captation des poussières atmosphériques et la reconstitution des colloïdes argileux du sol.* Note de M. **Hélios Scaëtta**, présentée par M. Auguste Chevalier.

L'entretien, par la forêt, d'une couche organique de 10-13^{cm} d'épaisseur moyenne au-dessus d'un profil pédologique vieux, n'explique pas la longue

---

(2) Ch. Dufraisse et R. Priou, *Comptes rendus*, 204, 1937, p. 127.

conservation d'un *éluvium* suffisamment épais pour permettre à la forêt ombrophile non seulement de subsister, mais de garder sa hauteur et sa densité normales. L'éluvium, qui a perdu, par un long lessivage, ses bases, sa silice, ses gels de kaolin, de Fe^2O^3 et d'Al^2O^3 et qui est imprégné d'eau par la constitution, en profondeur, d'une barre imperméable de silice, doit fatalement mincir, digéré en bas par l'horizon ferro-aluminique superposé à la barre, si une régénération constante de ses systèmes colloïdaux n'avait lieu par le haut. L'organisation sociale de la forêt est favorable à la reminéralisation du *solum*. L'apport a lieu principalement au cours des saisons sèches, quand les courants d'eau ascendant et descendant s'équilibrent plus ou moins. A ces mêmes époques, l'atmosphère équatoriale est souvent chargée de poussières; des brouillards épais stationnent longuement au niveau de la couronne des arbres. Le 8 août 1937, à Divo, un brouillard dense persistait au-dessus de la forêt jusqu'au matin, tandis qu'au-dessus d'une clairière voisine il était ténu et diparaissait rapidement. Ces brouillards tournent fréquemment en pluies fines de courte durée pendant la nuit. Les poussières et les sables fins provenant du Sahara méridional, où les poussières argileuses soulevées au-dessus du Soudan par désagrégation et vannage des vases, sont dérivées constamment par l'alizé vers la bande équatoriale, où elles sont déposées par ordre de densité. A ces matériaux divers s'ajoutent les cendres de la combustion des savanes incendiées et les débris organiques du sol, soulevés par les phénomènes de convection. Ces pélites entrés dans la couche d'air de la mousson atlantique (on sait que la mousson peut atteindre 4000^m au-dessus du sol) deviennent des germes de condensation. Par temps calme, le rayonnement même des poussières suffit à produire le brouillard par refroidissement (Defant). La radiation des gouttelettes continuant le processus de refroidissement, le brouillard s'épaissit et descend jusqu'aux couronnes des arbres. Le frottement entre les deux surfaces mobiles, l'une étant celle de la couche condensée et l'autre la frondaison moutonnée, siège d'une microturbulence, détermine la précipitation des poussières, conformément à la règle de Helmholtz. Les poussières demeurent quelque temps à la surface des feuilles et sont plus ou moins rapidement entraînées vers le sol par les pluies fines résultant du brouillard. En dehors des plus hauts sujets de la forêt qui constituent autant de microsurfaces de sédimentation, le rôle de captation paraît principalement dévolu à un certain nombre d'épiphytes mésophiles et xérophiles [au sens de Went (1892) et de Schimper (1898)], et de lianes.

Il se pourrait que le dépôt des poussières fût le résultat d'échanges électriques entre les organes aériens et l'air humide chargé de poussières.

Parvenues au sol, les poussières sont incorporées à la couche organique d'où elles pénètrent dans l'éluvium. Il semble que, dans ce mécanisme d'adduction des poussières, les insectes du sous-bois forestier ne jouent qu'un rôle secondaire. Certaines fourmis agglutinent en boules les limons parvenus aux troncs, facilitant ainsi leur chute par pesanteur. Les termites construisent, à la base des troncs à contreforts, des termitières en champignon ne dépassant généralement pas 1^{m} de hauteur. La fragilité de la couche organique du sol, même quand elle atteint l'épaisseur normale ($10\text{-}13^{cm}$), est fonction de la nature physique de l'éluvium. Si celui-ci est graveleux (quartz : grenaille latéritique allogène) ou sablonneux, cas fréquents, il suffit du piétinement, entretenu par le tracé d'un sentier indigène, pour user rapidement la strate organique et mettre à nu l'éluvium sous-jacent. C'est une preuve nouvelle de l'importance des poussières.

Les poussières composées normalement de kaolin, de mica, de feldspaths inaltérés, de grains de magnétite, d'ilmenite, d'olivine, de zircon, de rutile et surtout de quartz, sont altérés rapidement dans l'atmosphère calme, constamment humide et à température quasi uniforme de la forêt. Nos mesures micrométéorologiques poursuivies sous le couvert dense de la forêt de Yapo, en basse Côte d'Ivoire, ont démontré un état de l'air au sol constamment proche de la saturation en toutes saisons. L'humidité relative, mesurée le 10 mars 1939 (saison sèche) toutes les 40 minutes depuis 8^{h} jusqu'au coucher du soleil au cours de mesures de la température du sol par enregistrement électrique, a oscillé entre 83 % et 97 %. Le minimum a été relevé entre 12^{h} et $14^{h},45$. La température à $1^{m},50$ du sol a oscillé dans le même intervalle entre $24°,5$ et $28°$C., le maximum s'étant produit à $14^{h},45$. Si la destruction de la couche organique n'est pas aggravée par des interventions ultérieures (élargissement du piétinement, ouverture de clairières etc.) le gravillon de l'éluvium est vite enrobé dans un enduit colloïdal, et un gazon ténu de Graminées maintient la cohésion à la surface de la couche. Ce gazon n'est évidemment qu'un pionnier.

La fragilité de la forêt guinéenne sur des profils vieux n'est ainsi contrecarrée que par la captation des poussières à qui elle doit, en grande partie, sa longévité. La dégradation de la forêt par abattage des sujets plus hauts, et davantage par les incendies, diminue de toute évidence la quantité des poussières captées et livre des espaces vides à l'érosion, double action qui fait progresser rapidement le vieillissement du profil. La montée de l'horizon

concrétionné [1] s'opposera à la reconstitution de la forêt préexistante. Dans les meilleurs cas, seules des formations de taille et de densité inférieures pourront réapparaître, ce qui abaisse la valeur économique de l'aire forestière. Le Togo et le Dahomey sont, à ce propos, des exemples des plus instructifs.

GÉOLOGIE. — *Sur les complications tectoniques de la couverture du massif gneissique de Tanneron.* Note de M. **Léon Bertrand**, présentée par M. Emmanuel de Margerie.

Les gneiss du petit massif de Tanneron, au nord du Permien de l'Estérel, s'avancent jusqu'à 3^{km} au sud de Grasse, décapés de la couverture triasique discordante qui les borde au NW et à l'E. Cette avancée correspond à un anticlinal du Trias, dont l'axe jalonne le Grand-Vallon, à l'est de la ville, et est orienté environ N 30° E, comme le synclinal hercynien du Houiller du Reyran; suivant l'axe de cet éperon le Trias ne s'abaisse que très lentement, car le Muschelkalk n'y disparaît sous le Keuper qu'à 5^{km} de la base du Trias sur le gneiss. D'autre part, celui-ci se poursuit à l'est de Cannes par la digitation de la Maure, jusqu'à Notre-Dame de Vallauris, jalonnant aussi un anticlinal de Trias d'une direction sensiblement parallèle à l'axe de l'éperon précédent et qui, comme lui, paraît traduire une répercussion hercynienne dans le domaine provençal.

A l'extérieur de la bordure de Trias se montrent, sur la feuille d'Antibes de la carte géologique à 1/80000, le bord méridional des hauts plateaux de calcaires jurassiques de Saint-Vallier et du Nord de Grasse, au NW, et le plateau jurassique de Valbonne à l'E. Les contours qui, encore sur la deuxième édition de cette feuille, y séparent les divers étages du Trias, de l'Infralias et du Jurassique (débutant par le Bajocien) donnent, par leur relation avec la topographie et en accord avec une phrase de la Notice explicative indiquant que « les terrains secondaires sont peu disloqués », l'impression que ces couches se superposent régulièrement. On ne reconnaît, sur la carte, que quelques failles de faible importance : l'une dénivelant la base du Trias et le socle cristallin au nord d'Auribeau, suivant l'axe de l'éperon du Grand-Vallon; une autre marquant la surrection, avec chevauchement en son bord ouest, du gneiss de la Maure; deux autres de même direction, affectant le plateau jurassique de Valbonne.

---

(1) *Comptes rendus*, **212**, 1941, p. 169.

Aussi est-il surprenant de lire, dans la Notice explicative, que « dans l'angle nord-ouest de la feuille, on observe, au nord de Callian et au sud-est de Saint-Cézaire, des répétitions de couches que l'on peut assimiler aux *duplicatures* dont MM. Léon Bertrand et A. Lanquine ont fait voir le rôle important dans la région de Grasse » et, pourtant, de constater que *les contours de la carte ne traduisent pas de telles répétitions*. Quoique l'existence de ces duplicatures, que M. Lanquine et moi avons signalées en une collaboration déjà ancienne, ait été contestée par M. J. Goguel (1) en une région où les plus basses ne sont formées que de Trias et d'Infralias, dont la confusion est possible à un examen rapide si l'on ne tient compte de la répétition de Rhétien fossilifère, leur distinction ne peut être méconnue lorsque s'y développent les calcaires jurassiques au-dessus de l'Infralias et du Keuper, qui alors diminuent d'importance relative. Il est facile, sur la feuille géologique de Nice (2e édition), de suivre la continuité de ces accidents dans les plateaux jurassiques malgré des déformations et même des imbrications locales, au moins en partie dues à la phase alpine, jusqu'au Nord-Est du département du Var, où elles ont fait l'objet d'une étude de M. Pierre Bellair (2), dont les résultats ont été trop peu diffusés, n'ayant pas été publiés dans un périodique. Aussi m'a-t-il paru utile, lors de la récente publication de la feuille de Nice, de lui juxtaposer une étroite bande adjacente du bord NW de celle d'Antibes portant des contours revisés par M. Bellair, afin de permettre de suivre jusqu'à la limite de celle de Draguignan l'allure des duplicatures de la bordure du massif de Tanneron, en particulier la superposition de deux séries jurassiques séparées par une lame horizontale d'Infralias visible sur 6km dans la gorge de la Siagne au-dessous de Saint-Cézaire et même la réapparition de la série inférieure en fenêtre encore à 3 km plus loin.

Dans la bordure orientale du massif, se montrent des accidents analogues, quoique semblant de moindre ampleur, et dont il reste à préciser des détails n'entachant pas l'exposé général. Dans le prolongement d'une zone figurée sur la feuille d'Antibes, entre Le Plan et Valbonne, comme montrant une succession régulière et largement étalée de Trias et

(1) *Comptes rendus*, 1934, 199, p. 157, avec une réponse de MM. Léon Bertrand et Paul Goby, p. 679.

(2) *Les duplicatures provençales dans le Nord-Est du département du Var* (Résumé du Mémoire présenté à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris pour l'obtention du Diplôme d'études supérieures); 14 pages, dont une de coupes à 1/50000 et une esquisse structurale à 1/160000. Paris, 1933.

Infralias, aboutissent sur la feuille de Nice plusieurs synclinaux d'Infralias pincés dans le Keuper et dont les affleurements tournent au SE en dehors du Grand-Vallon. Ceux-ci prolongent les duplicatures de la région du Rouret et de Châteauneuf, dont les plus élevées admettent aussi du Jurassique, la plus haute constituant le bord du plateau de Valbonne. Sur la feuille d'Antibes, ces accidents se poursuivent vers Le Cannet : après un premier de ces plis, marqué par des témoins synclinaux d'Infralias (Le Plan, Peygros), l'Hettangien d'un pli suivant, qui porte le village de Mougins, s'enfonce à l'Est sous du Keuper qui supporte une nouvelle lame infraliasique très continue et aussi plongeant à l'Est qui, très mince au pied de la colline de Mougins et au-dessous de Notre-Dame de Vie, se poursuit tout au travers du territoire du Cannet, avec du Rhétien fossilifère à sa base, à mi-hauteur dans la zone figurée en Keuper sur la carte, pour venir former l'éperon tabulaire du Pezou et ensuite affleurer jusqu'au-dessus de Vallauris. Sur tout ce trajet, cette troisième bande infraliasique s'enfonce sous le Keuper d'une duplicature supérieure qu'on suit depuis Plascassier jusqu'à Vallauris, dominé par la corniche infraliasique du Castelaras, de Notre-Dame de Vie, de la Tête du Guillet, où commence la série jurassique du plateau fortement ondulé de Valbonne.

Il est à noter que ces imbrications de la bordure orientale sont le prolongement exact de celles de la bordure nord-ouest, se raccordant avec elles à l'est de la vallée du Loup en s'enveloppant successivement autour d'un bombement de l'anticlinal du Grand-Vallon. Celui-ci apparaît comme ayant déformé, suivant une direction hercynienne, ces replis de la couverture du massif de Tanneron, dont la signification ne pourra être discutée que dans un cadre provençal plus étendu.

TECTONIQUE. — *Sur les directions de plissement affectant la bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine*. Note de M. **Gérard Waterlot**, présentée par M. Charles Jacob.

Dans l'Aunis, le Marais poitevin et la Plaine de Luçon, de même que dans certaines îles du Marais, les couches jurassiques offrent une direction E-W. C'est d'ailleurs celle du Marais lui-même qui recouvre les marnes du Callovien et de l'Oxfordien. Il en est ainsi notamment entre les Nouillers et Saint-Jean-d'Angély, la Pointe d'Yves et Loulay, la Pointe de Chatelaillon-La Rochelle et Dœuil, dans les îles de Charron, de la

Dive, à la pointe Nord de la presqu'île de Marans, dans l'île de Champagné. Cette direction est en opposition frappante avec la direction générale des plis et accidents dans ces mêmes régions du Marais, de la Plaine de Luçon, de l'Aunis où les axes tectoniques et les failles sont orientés au N-W (1). Mais elle est à rapprocher des deux observations suivantes :

1° Au Nord de ces pays, en Vendée, dans le Pays de Retz et aux environs de Guérande, les terrains anciens, depuis la côte à l'Ouest jusqu'au grand anticlinal des Essarts-Mervent à l'Est, sont précisément plissés suivant la direction E-W. C'est ainsi que l'on voit les phtanites de Brétignolles à la Mothe-Achard, ceux de Palluau, de la Pointe-Saint-Gildas, de Saint-Père-en-Retz suivre une telle direction pour s'infléchir ensuite doucement vers l'E-S-E jusqu'à rejoindre à peu près la direction Sud-armoricaine. Les phtanites de Guérande suivent une direction identique et même se redressent vers l'E-N-E pour butter perpendiculairement contre les alignements Sud-armoricains d'Herbignac. G. Mathieu (2) a montré qu'entre ce grand anticlinal des Essarts et la côte, les terrains n'ont pas formé de plis de forte amplitude, mais plutôt des ondulations faibles et nombreuses. Vers l'Ouest, dans les îles d'Yeu et de Belle-Isle-en-Mer, toutes les directions de plissement sont de nouveau du type Sud-armoricain et rejoignent, dans la région de Quiberon, les plis de même style de la région Est.

Ainsi tout un plateau primaire, assez large entre Brétignolles et la Roche-sur-Yon et se terminant en pointe vers le Nord près de Quiberon, montre, d'après les levés de Ch. Barrois et G. Mathieu, des plis dirigés d'Ouest en Est, comme nous le constatons dans les pays jurassiques du Sud, depuis Luçon jusqu'à Saint-Jean-d'Angély.

2° Au Sud-Est de Rochefort, le Jurassique disparaît définitivement sous la couverture crétacée; mais la limite inférieure du Cénomanien recoupe obliquement les alignements E-W des différents étages jurassiques, montrant ici l'existence de la transgression crétacée observée plus au Sud, de Cognac à Mareuil, par Ph. Glangeaud (3), avec discordance du Cénomanien sur le Jurassique, et par G. Mouret (4) aux environs de Brive. Le Crétacé n'est pas affecté par les directions E-W du Jurassique. Ceci montre que les plissements post-jurassiques-anté-cénomaniens, constatés par ces auteurs, existent également plus au Nord et ce sont eux qui ont affecté les terrains jurassiques de Luçon, du Marais et de l'Aunis, de leur direction E-W.

Ces mouvements, quoique peu accentués puisqu'ils n'ont eu pour action que d'incliner les couches jurassiques vers le Sud suivant une faible pente, ont provoqué cependant des anticlinaux à large courbure. Aux points de culmination d'axes correspond l'allongement E-W des îles de Charron,

(1) Voir la feuille de Fontenay-le-Comte, 2e édition, 1939, par G. Mathieu et G. Waterlot.

(2) *Terr. paléoz. région vendéenne* (*Thèses*, Lille, 1937).

(3) *Bull. Carte géol. Fr.*, n° 70, 11, 1899, p. 35.

(4) *Gîtes minéraux de la France* (*Bass. houiller et permien de Brive*, p. 142).

Champagné, alors que la direction N-W des autres îles est imputable au plissement tertiaire. La tectonique anté-cénomanienne a simplement eu pour résultat de modeler les terrains jurassiques sur la structure du tréfonds paléozoïque qui prolonge, vers le Sud, le Primaire de Vendée.

Puis les dépôts crétacés se sont effectués et les plissements tertiaires ont déformé l'ensemble des couches jurassiques et crétacées (Ile d'Oléron à Gémozac, falaise de Piédemont à Grandgent etc.). Cette fois, on n'observe plus que la seule direction Sud-armoricaine, déjà prédominante dans le Paléozoïque à la suite des mouvements hercyniens. Ces plis tertiaires, répliques posthumes de l'orogénie carbonifère, ont été bien plus importants que ceux d'âge anté-cénomanien, mais ils ont agi différemment dans la région Luçon-Marais poitevin-La Rochelle-Saint-Jean-d'Angely et dans les zones limitrophes de l'Est et de l'Ouest. En effet, à l'Est, on trouve le puissant horst tertiaire de Mervent-Montalembert, accompagné latéralement de failles à fort rejet, et cet axe anticlinal important a toujours montré une orientation N-W depuis les plis hercyniens jusqu'aux plis tertiaires. A l'Ouest, c'est le gros pli anticlinal de Jonzac-Gémozac-Brouage-Ile d'Oléron, nettement orienté au N-W et dont les flancs sont limités brutalement par des failles importantes : au N-E, celle de Piédemont-Saint-Agnant; au S-W, celle de Saint-Pierre-d'Oléron à Marennes. Entre ces deux limites, s'étend le pays d'Aunis et du Marais poitevin dont la disposition des strates n'a été que peu modifiée par l'orogénie tertiaire. Des axes de plissement de direction Sud-armoricaine ont pu être repérés dans tout le Marais poitevin et sa bordure jurassique ([5]) déterminant les allongements N-W des principales îles; c'est ainsi que la presqu'île de Marans s'étire suivant un axe anticlinal depuis les carrières de la gare de Marans jusqu'à Mauzé et au delà. Mais ces plis tertiaires sont ici très doux et c'est la raison pour laquelle, dans le Marais et en Aunis, ils n'ont pas oblitéré complètement les ondulations E-W anté-cénomaniennes. Il est d'ailleurs à constater que la rencontre des deux directions de plissement a sa répercussion sur le contour des îles et celles-ci s'étirent dans les deux sens (Triaize, Gué-de-Velluire, Marans).

Ainsi les deux lignes anticlinales maîtresses des Essarts-Mervent-Montalembert d'une part, et de l'Ile d'Oléron-Gémozac-Jonzac d'autre part, séparées en Haut-Périgord par une zone intermédiaire qui adopte, au

---

([5]) Voir G. Waterlot, *Ann. Soc. Géol. Nord*, **61**, 1936, p. 2; **63**, 1938, p. 16.

Tertiaire, les mêmes directions de plissement Sud-armoricain, laissent entre elles un plateau plus réfractaire aux grandes poussées. Cette zone de résistance comprend, d'une part, la région côtière du Primaire de Vendée, aux plis E-W de faible amplitude et, d'autre part, les pays d'Aunis et du Marais poitevin, où les légères ondes E-W anté-cénomaniennes n'ont pas été complètement amorties par les plissements tertiaires. C'est *l'orientation très particulière du tréfonds paléozoïque*, nettement dirigée en travers des plis tertiaires, qui *explique pourquoi tout ce secteur est demeuré relativement calme* depuis l'époque primaire jusqu'à nos jours et pourquoi *la couverture jurassique a gardé plus fidèlement le reflet de la tectonique hercynienne.*

MAGNÉTISME TERRESTRE. — *Sur la vérification d'une méthode permettant de déterminer l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé.* Note [1] de M. **Émile Thellier**, présentée par M. Charles Maurain.

Au cours du refroidissement qui suit leur cuisson et sous l'action du champ magnétique terrestre, les terres cuites prennent une aimantation dont j'ai étudié [2] les remarquables propriétés et les applications géophysiques. J'ai montré comment on pouvait retrouver, sur des séries de briques d'âge connu, la variation de l'inclinaison du champ magnétique terrestre dans le passé et j'ai donné la courbe probable de variation, à Paris, depuis l'époque actuelle jusqu'au milieu du XVe siècle. J'ai d'autre part proposé une méthode permettant de rechercher, sur les mêmes matériaux, la variation de l'*intensité* du champ terrestre : le moment magnétique permanent M d'une brique étant mesuré, on la désaimante en la chauffant à une température un peu supérieure à 670°, en atmosphère neutre, dans un four amagnétique, puis on la laisse refroidir dans le champ terrestre actuel d'intensité H′ mesurée à l'emplacement même du four; la brique, acquiert alors un nouveau moment magnétique permanent M′, tel que

$$\frac{M}{M'} = \frac{H}{H'},$$

H étant l'intensité du champ terrestre à l'époque de la cuisson. Si

---

(1) Séance du 10 février 1941.

(2) *Annales de l'Institut de Physique du Globe*, Paris, **16**, 1938, p. 157-302.

plusieurs briques de même origine fournissent des valeurs H peu dispersées, la moyenne de ces valeurs doit être très proche de l'intensité du champ terrestre au lieu et à l'époque de la cuisson ancienne.

Les résultats qui vont suivre représentent une vérification de cette méthode sur des briques relativement récentes, cuites en un lieu où l'intensité du champ magnétique terrestre est connue. Ils portent sur un lot de 10 briques prélevées sur un four de campagne, au Caule Sainte-Beuve (Seine-Inférieure) en 1933. Pour la mesure des moments magnétiques, les précautions suivantes, que j'ai montrées nécessaires, ont été prises :

1° M, d'abord mesuré après un long séjour des briques au laboratoire, dans une position connue par rapport au champ terrestre, est mesuré une seconde fois après un nouveau séjour dans une position inversée. L'accord des deux valeurs ainsi obtenues montre que le moment magnétique permanent de la terre cuite n'est pas modifié, à température constante, par le champ terrestre actuel.

2° La réaimantation par réchauffement est faite une deuxième fois. L'accord des deux valeurs M′ obtenues pour chaque brique montre que la terre cuite ne se modifie pas sous l'action de ce réchauffement à 670°.

Les résultats des mesures contenus dans le tableau suivant ([3]) montrent que ces deux vérifications sont satisfaisantes.

		C 1.	C 2.	C 3.	C 4.	C 5.	C 6.	C 7.	C 8.	C 9.	C 10.
M (*)	1re mesure....	0,682	2,090	0,730	0,666	0,945	2,284	0,674	0,667	0,776	1,078
	2e mesure....	0,675	2,078	0,729	0,665	0,959	2,311	0,681	0,674	0,786	1,084
M′ après	1er réchauff^t...	0,659	1,985	0,760	0,690	0,970	2,200	0,665	0,665	0,804	1,096
	2e réchauff^t...	0,657	1,968	0,754	0,689	0,959	2,162	0,658	0,658	0,796	1,089
M/M′	....	1,030	1,055	0,964	0,964	0,987	1,054	1,026	1,014	0,976	0,989

(*) (en u. e. m.).

Le four utilisé pour les réchauffements étant situé dans un laboratoire, à Paris, le champ terrestre y est assez différent du champ normal, mais des mesures répétées de l'inclinaison magnétique, au moyen d'une boussole d'inclinaison, et de la composante horizontale de l'intensité, au moyen d'un QHM (*Quartz*, *Horizontal Force*, Magnetometer) ([4]) n'ont montré

([3]) Les moments magnétiques sont rapportés à la même température, 20°. L'aimantation permanente des terres cuites subit, en effet, comme celle des aimants en acier, une variation avec la température dont je poursuis l'étude.

([4]) D. La Cour, *Danske meteorologiske Institut, Communications magnétiques*, 15, 1936, 22 p.

aucune variation pendant toute la durée de cette étude. Ces mesures donnent 68°45′ pour l'inclinaison et 0,1642 gauss pour la composante horizontale, ce qui entraîne $H' = 0,453$ gauss. La valeur moyenne de M/M′ étant 1,006, l'intensité du champ terrestre, au Caule Sainte-Beuve en 1933, déduite des mesures d'aimantation, serait donc $0,453 \times 1,006$, soit

$$H_{\text{aimantation}} = 0,456 \text{ gauss}.$$

Or les mesures faites pour l'établissement du réseau magnétique français dans cette région ([5]) en 1922, donnent pour l'inclinaison et la composante horizontale de l'intensité, 65°33′ et 0,1918, soit, en tenant compte de la variation séculaire observée au Val-Joyeux ([6]), 65°38′ et 0,1916 pour 1933, ce qui entraîne

$$H_{\text{mesure directe}} = 0,464 \text{ gauss}.$$

L'accord, à 2 % près environ, de la valeur obtenue par la méthode proposée avec celle obtenue par mesure directe n'est pas fortuit. On remarquera que la dispersion des valeurs de H qu'on calculerait séparément pour chaque brique, dispersion qui est celle des valeurs M/M′, n'est pas considérable; or les causes d'erreur qu'on peut craindre doivent augmenter cette dispersion ([7]).

Ces résultats montrent que l'on peut espérer retrouver l'intensité du champ terrestre dans le passé avec une précision peut-être supérieure à celle des premières mesures directes, lesquelles d'ailleurs ne datent guère que d'un siècle et demi.

([5]) C. E. Brazier, *Annales I. P. G.*, Paris, 3, 1925, p. 57-67.

([6]) *Ibid.*, 16, 1938, p. 3.

([7]) On pourrait imaginer cependant une diminution progressive des moments magnétiques; une telle évolution, qui se manifesterait surtout aussitôt après la sortie du four, n'existe pas. En effet, la mesure ayant suivi le premier réchauffement a été, en réalité, faite deux fois : la première dès que la brique avait repris la température extérieure, la deuxième quinze jours plus tard environ. Ces deux mesures donnent des moments magnétiques ne différant pas de plus de 1 %. On voit, en passant, quelle précision est maintenant atteinte dans la mesure de moments magnétiques aussi faibles que ceux de ces briques.

PHYSIOLOGIE DES SENSATIONS. — *La loi d'Abney et la surévaluation chromatique des brillances.* Note de M. **Henri Piéron**, présentée par M. Louis Lapicque.

La loi d'Abney, d'après laquelle, dans les mélanges de radiations, les apports lumineux propres de celles-ci s'ajoutent intégralement, est plutôt un postulat, généralement admis malgré de nombreuses discussions d'inspiration théorique, qu'une loi expérimentalement vérifiée.

Les données apportées par Abney manquent entièrement de précision, et il n'y a pas eu d'expérimentation systématique dans des conditions rigoureuses.

Me trouvant en mesure, avec le spectrocolorimètre que j'avais fait spécialement construire pour l'étude de l'établissement des sensations chromatiques ([1]), d'obtenir les conditions rigoureuses indispensables, j'ai procédé à une série de recherches sur l'additivité lumineuse de radiations monochromatiques de diverses longueurs d'onde (avec des plages fovéalement fixées de 1°30′ de largeur et de 2°, au total, de hauteur).

Si l'on procède à la mesure des brillances pour les plages monochromatiques par photométrie hétérochrome directe, on constate que l'additivité est pratiquement intégrale dans les mélanges de radiations voisines; mais un déchet se marque quand on s'approche de la relation antagoniste entre longueurs d'onde complémentaires, déchet dont le maximum correspond sensiblement à cette relation.

Dans ce cas, la lumière résultant du mélange des radiations, dépourvue de couleur, est facilement comparée à une plage de lumière blanche provenant du flux total de la source (constituée, pour tous les faisceaux, par des lampes Pointolite), tandis que la comparaison des radiations com-

---

([1]) Cf. H. Piéron, *Revue d'Optique*, **9**, 1930, p. 5-16.

Trois faisceaux indépendants peuvent être réglés en longueur d'onde (avec trois spectromètres), en énergie (par le jeu de nicols croisés) et en saturation (par mélange avec un flux réglable de lumière blanche). Deux de ces faisceaux peuvent être superposés ou se succéder (pour la photométrie de papillotement) sur une plage photométrique, tandis qu'une plage contiguë (cube de Lummer-Brodhun) est éclairée par le troisième faisceau.

posantes est rendue difficile en raison de l'hétérogénéité chromatique des plages.

L'infraction très considérable à la loi d'Abney n'est-elle pas illusoire et due à une erreur systématique de photométrie hétérochrome ?

Deux autres méthodes ont été utilisées pour l'évaluation des brillances monochromatiques, l'une fondée sur la comparaison en photométrie de papillotement, l'autre sur l'évaluation des valences lumineuses des radiations spectrales, de 10 en 10 mμ par la méthode du pas à pas, en partant d'une radiation jaune comparée au flux total de lumière blanche, par photométrie directe et photométrie de papillotement (l'accord des deux méthodes étant constaté pour cette plage, dont le chroma faiblement saturé gêne peu les appréciations directes d'égalité avec un flux total lui-même un peu jaune).

Voici le rapport moyen, obtenu par les trois méthodes, de la luminosité totale du mélange d'un couple de radiations antagonistes (680 à 540 mμ) à la somme des luminosités partielles des radiations mélangées :

Photométrie directe	0,657 (6 sujets avec valeurs extrêmes de 0,492 et 0,838)
Évaluation pas à pas.........	0,738 (4 séries sur 2 sujets; extrêmes 0,653 et 0,823)
Photométrie de papillotement. .	0,911 (5 sujets; extrêmes 0,855 et 0,976)

Si l'on accepte comme valables les égalisations de la photométrie de papillotement, malgré les critiques, souvent illégitimes, dont elle a été l'objet, il apparaît, dans le mélange des radiations antagonistes, une perte lumineuse voisine de 10 %.

Mais à cette perte s'ajoute un déchet apparent dû à une erreur systématique de la photométrie hétérochrome directe, et consistant en une surévaluation de brillance des plages colorées en fonction de leur saturation chromatique.

Cette erreur systématique intervient dans un autre cas, faisant croire à l'existence d'une fatigue lumineuse élective pour les radiations spectrales de longueur d'onde voisine de celle correspondant à un éclairement monochromatique plus ou moins prolongé.

En effet, si l'on mesure la brillance de diverses plages monochromatiques avant et après avoir soumis l'œil à un éclairement intense par des radiations spectrales définies, la perte de saturation, pour les plages de même coloration que la lumière ayant servi à fatiguer l'œil, augmente la diminution réelle de brillance perçue en supprimant l'action du facteur de

surévaluation chromatique, et l'errreur est inverse pour les radiations complémentaires. Dans ces conditions, j'ai pu observer, pour deux plages isolumineuses éclairées respectivemement par des radiations de 675 et 498 mμ, une perte relative de la plage correspondant aux radiations utilisées pour la fatigue de l'œil atteignant jusqu'à 75 % environ.

Mais, si l'on procède à des mesures de brillance par photométrie de papillotement (comparaison des lumières hétérochromes entre elles ou de chacune avec une plage blanche), on constate que la perte lumineuse est la même pour toutes les radiations : l'égalité obtenue avec un couple de radiations complémentaires d'après le minimum de papillotement (qu'on peut amener au point critique de fusion avec une fréquence convenable des alternances) n'est pas modifiée par la fatigue avec l'une ou avec l'autre de ces radiations.

Cette absence d'électivité dans les fatigues lumineuses spectrales par éclairements monochromatiques est d'une grande importance théorique.

Si l'on admet en effet le principe de la triplicité réceptrice dans la théorie de Young-Helmholtz, il faut, ou bien qu'il existe, à côté des trois récepteurs chromatiques, dans la vision par cônes, un système unique de réception lumineuse, ou bien que la sensiblilité lumineuse spectrale des trois récepteurs soit presque identique, une différence pratiquement inappréciable devant suffire pour assurer une prédominance marquée de l'un d'eux, ce qui est en désaccord complet avec les courbes généralement adoptées de sensibilité spectrale des composantes admises.

PHONÉTIQUE PHYSIOLOGIQUE. — *Du rôle fondamental du larynx dans la différenciation du timbre des voyelles.* Note de M. **Jean Tarneaud**, présentée par M. Louis Lapicque.

I. Nous avons à considérer les trois faits expérimentaux suivants :

a. Marage [1] annula le rôle vocalique de la cavité buccale en la remplissant de stents, matière servant aux dentistes pour le modelage des empreintes. Un tube cylindrique, traversant le stents, conduisait l'onde

---

(1) *Physiologie de la voix*, 1921, Paris, p. 102.

sonore émise par le larynx. Malgré l'absence du résonateur buccal, les voyelles étaient nettement différenciées.

b. Expérience de Berger ([2]) : un son rigoureusement simple et de hauteur déterminée, émis par un otaudion, est envoyé dans le pharynx d'un sujet laryngectomisé, par l'orifice servant à la canule. Aucune production de voyelle ne résulte des mouvements du pharynx et de la bouche effectués par le sujet.

R. Husson ([3]) en a justement conclu que la différenciation vocalique par les résonateurs exige une fourniture *suffisamment complexe* de l'onde sonorisée par les vibrations des cordes vocales.

c. Les tomographies du larynx en phonation, réalisées en 1937 par Canuyt, Greiner et Gunsett ([4]), montrent pour chaque voyelle des différences notables de situation et de forme des organes du vestibule laryngé, bandes ventriculaires, ventricules, et de la cavité pharyngo-laryngée délimitée par la base de la langue, l'épiglotte et les parois du pharynx.

A tout son de voyelle correspond une appropriation variable et particulière des cavités du larynx et du pharynx.

II. Nous avons effectué en série l'examen laryngo-stroboscopique des cordes vocales sur un grand nombre de sujets, sur différentes hauteurs tonales. Lorsque nous demandions à chacun d'eux d'émettre une même voyelle avec une hauteur invariable, une intensité égale, mais avec un timbre fortement modifié, par exemple de é à ê, nous avons constaté un travail vibratoire des cordes vocales très différent d'un timbre à l'autre.

Alors que, pour le son *è*, la tension des cordes vocales est totale, dans le son fermé *é*, cette tension est nettement diminuée au niveau du bord libre des cordes vocales. De rigide, ce bord libre devient plus souple, ce qui donne à la vibration, au temps du début d'ouverture des rubans vocaux, un aspect de flottement qui n'existe pas pour le son *è*.

III. La formation des voyelles exige donc la fourniture du son complexe réalisé par les vibrations des cordes vocales, et elle impose des appropriations convenables du tube d'embouchure réalisé par le vestibule laryngé et le pharynx.

([2]) *Zeitschrift für Kinderforschung*, 42, 1934, p. 219.

([3]) *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1630.

([4]) *La méthode des coupes radiographiques* (*Tomographie ou Planigraphie*) *appliquée à l'étude de la phonation*. (*Revue française de Phoniatrie*, n° 23, juillet 1938.)

La différenciation des sons vocaliques existe déjà dans la cavité laryngo-pharyngée et s'achève dans le résonateur buccal.

Chaque voyelle comporte une posture particulière du larynx tout entier (musculature intrinsèque et extrinsèque).

Ainsi doit-on réhabiliter le rôle fondamental du larynx dans la genèse et la différenciation des divers timbres vocaliques.

La séance est levée à 15h20m.

A. Lx.